



# Probeklausur: Mechatronik und elektrische Antriebe

08.01.2014

|   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|------|------|------|--|------------------------|--|--|--|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>Name:</b>  |      |      |      |  | <b>Matrikelnummer:</b> |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Vorname:</b>   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Studiengang:</b>   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Aufgabe:  | 1    | 2    | 3    |  |                        |  |  |  | Punkte<br>Gesamt |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (Punkte)  | (20) | (20) | (20) |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |      |      |  |                        |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Bearbeitungszeit: 90 Minuten**

**Zugelassene Hilfsmittel:**

- eine selbsterstellte, handgeschriebene Formelsammlung (1 Blatt DIN A4, einseitig beschrieben, keine Kopien oder Ausdrücke)
- ein nichtprogrammierbarer Taschenrechner ohne grafikfähiges Display
- Zeichenmaterialien (Zirkel, Geodreieck, Lineal, Stifte...)

Bitte Studenausweis mit Lichtbild bereitlegen!

Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer. Benutzen Sie für jede Aufgabe einen neuen Klausurbogen. Verwenden Sie keine Bleistifte und keine roten Stifte.

**Alle Lösungswege sind nachvollziehbar zu dokumentieren und zu kommentieren! Die Angabe eines Endergebnisses ohne erkennbaren Lösungsweg wird nicht gewertet.**

## Viel Erfolg!

**Aufgabe 1: Basic Magnetics**

**(20 Punkte)**

Gegeben sei der in Abbildung 1 angegebene magnetische Kreis. Die eingangsseitige Spannung  $V_s$  habe den in Abbildung 2 gezeigten zeitlichen Verlauf. Vernachlässigen Sie hierfür den Wicklungswiderstand. Die Permeabilität des Eisens betrage  $\mu_r = 10000$ . Nehmen sie darüber hinaus an, dass der gesamte Fluss durch beide Wicklungen fließt.

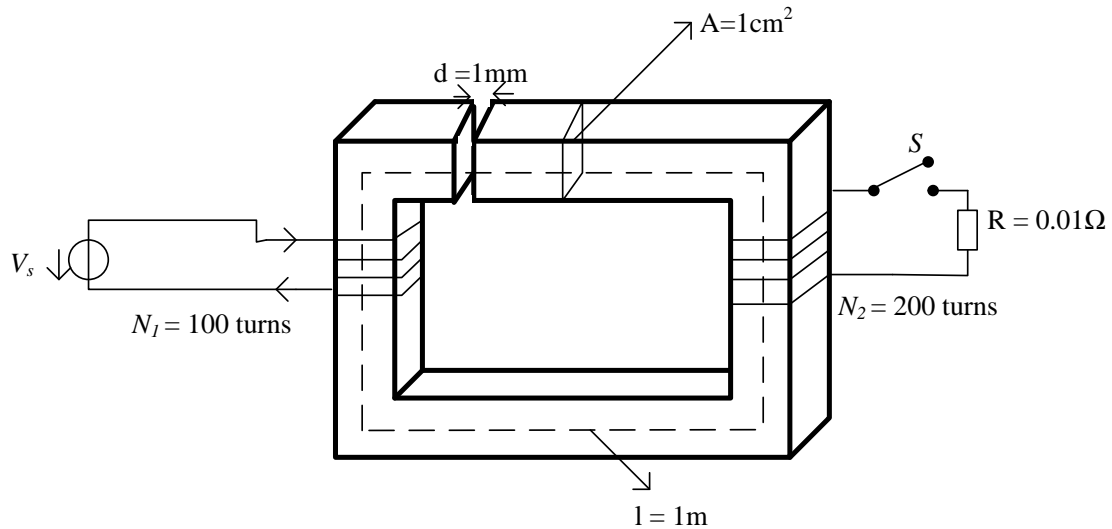


Abbildung 1

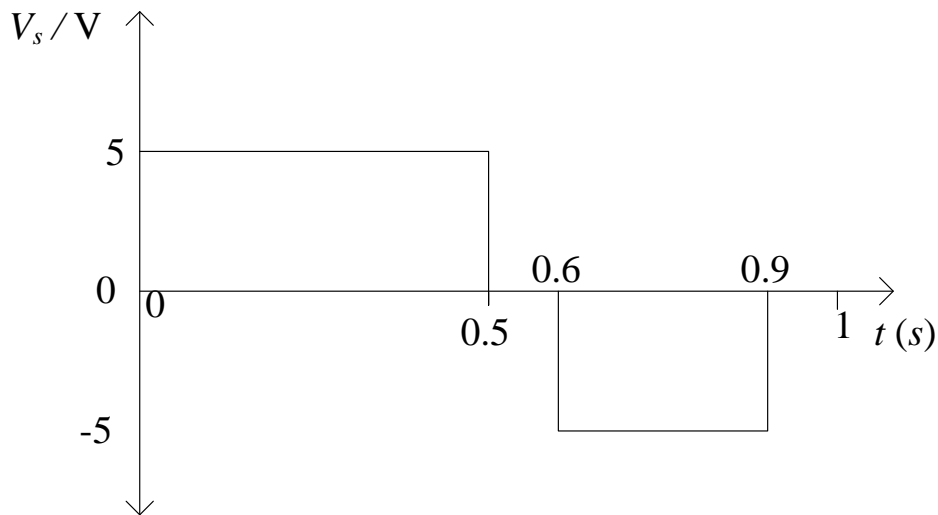


Abbildung 2: Verlauf der Eingangsspannung

**1.1** Für den Fall, dass der Schalter  $S$  geöffnet ist:

- a) Berechnen Sie die primärseitige Induktivität (auf der linken Seite)
- b) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf des Eingangstroms und den Verlauf des Flusses für die Zeit  $t = 0$  s bis  $t = 1$  s. Bitte verwenden Sie hierfür die das Diagramm auf der übernächsten Seite.

c) Berechnen Sie die Flussdichte im Eisenkern zum Zeitpunkt  $t = 200$  ms.

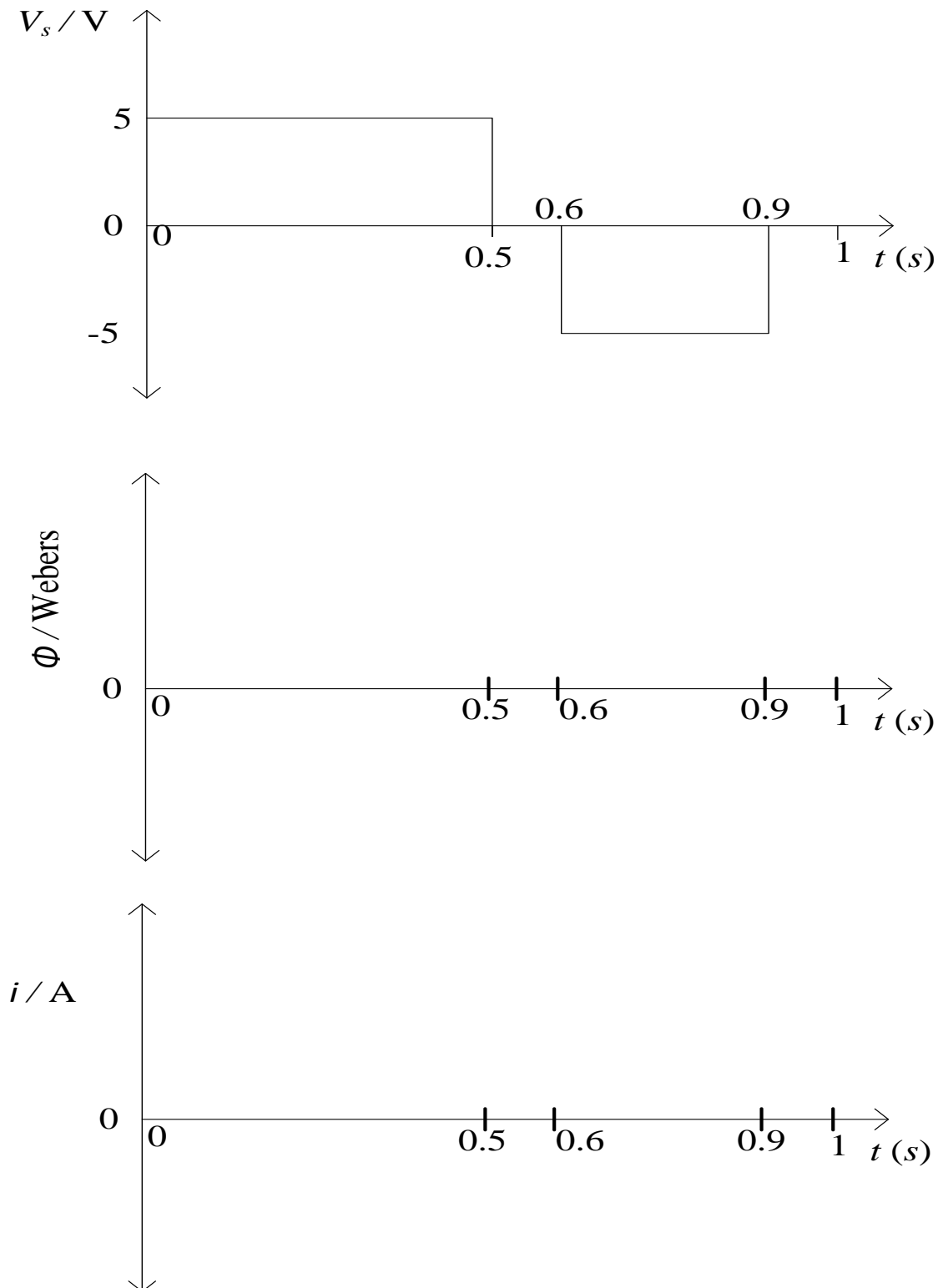
**1.2** Für den Fall, dass der Schalter  $S$  geschlossen ist:

a) Berechnen Sie die primärseitige Induktivität (auf der linken Seite)

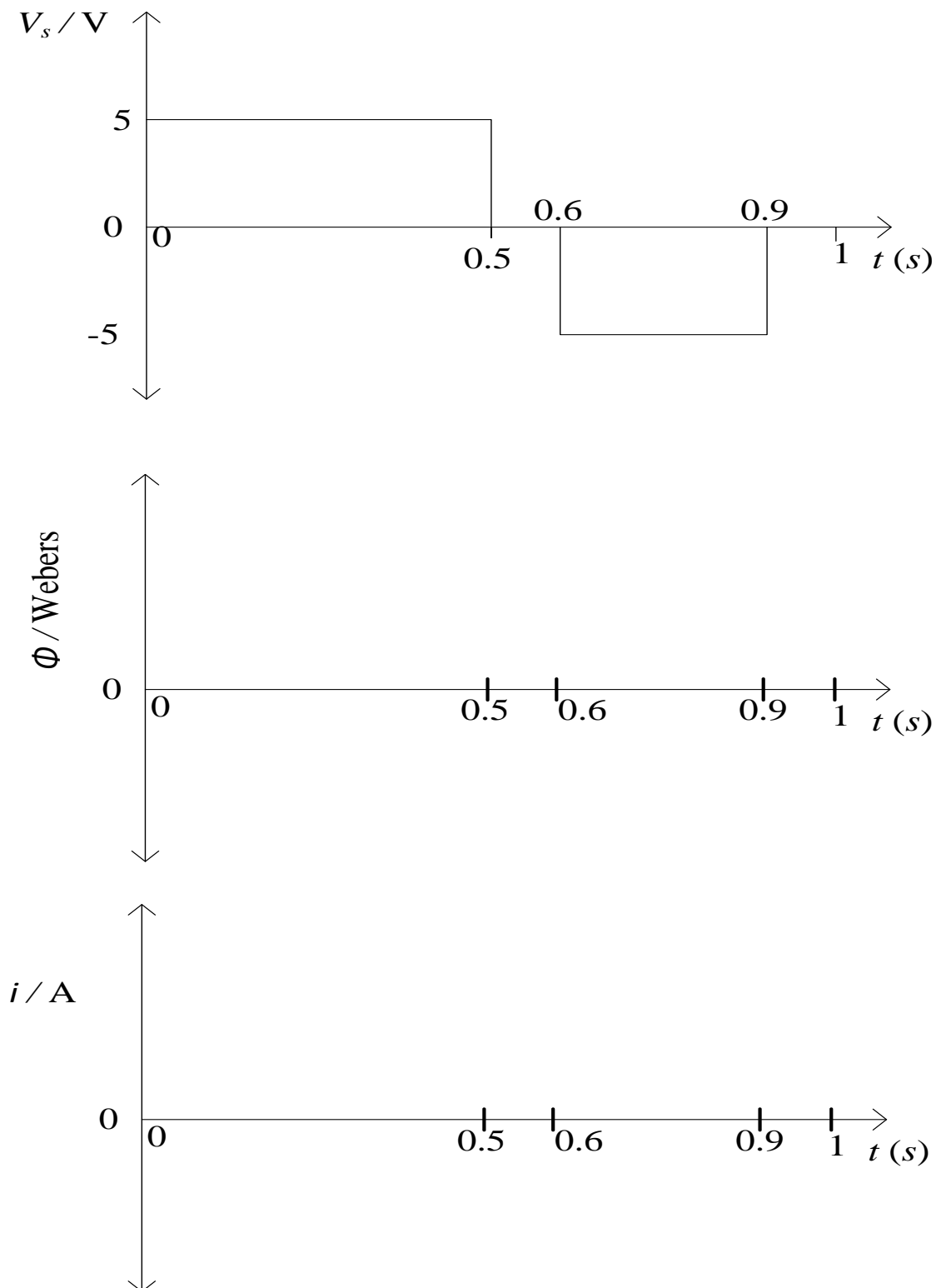
b) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf des Eingangsstroms und den Verlauf des Flusses für die Zeit  $t = 0$  s bis  $t = 1$  s. Bitte verwenden Sie hierfür die das Diagramm auf der übernächsten Seite.

c) Berechnen Sie die Flussdichte zum Zeitpunkt  $t = 200$  ms

**Antwort 2.1:** Für den Fall, dass der Schalter  $S$  geöffnet ist

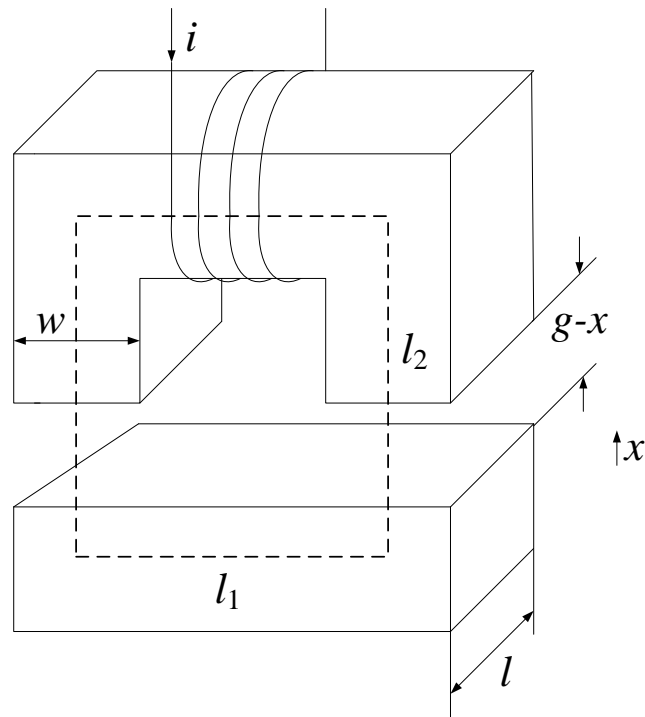


**Antwort 2.2:** Für den Fall, dass der Schalter  $S$  geschlossen ist



**Aufgabe 2: Magnetlager**
**(20 Punkte)**

Gegeben sei der unten dargestellte Elektromagnet. Der C-förmige Teil des Elektromagneten habe eine Weite von  $w$  und eine Tiefe  $l$ . Der Pfad des Flusses ist durch die gestrichelte Linie hervorgehoben. Die aktive magnetische Länge des C- und I-förmigen Teils sind durch die Größen  $l_1$  und  $l_2$  repräsentiert. Die aufgebrauchte Wicklung habe  $N$  Windungen und wird von einem Strom  $i$  durchflossen. Die nominelle Luftspaltbreite ist  $g$ . Für Auslenkungen  $x \ll g$ , wie in Abbildung 3 dargestellt, nehmen Sie Folgendes an:



- 2.1** Nehmen Sie für das Eisenmaterial eine Permeabilität von  $\mu_r$  an. Berechnen Sie die verschiedenen Reluktanzen und geben Sie das magnetische Ersatzschaltbild an.
- 2.2** Nehmen Sie an, dass das Eisenmaterial ideal ist ( $\mu_r = \infty$ ). Berechnen Sie die Luftspaltreluktanz und die nachfolgenden Größen:

**Hinweis:** Verwenden Sie  $\frac{1}{g-x} = \frac{1}{g} \left(1 + \frac{x}{g}\right)$  für  $x \ll g$ , sofern benötigt

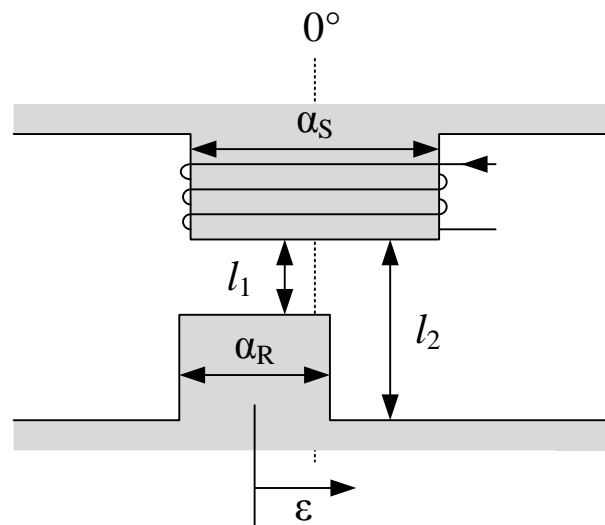
- Den Verkettungsfluss
- Die Wicklungsinduktivität
- Die Flussdichte im Luftspalt
- Energie und Co-Energie
- Die Kraft auf das I-förmige Werkstück. Kennzeichnen Sie die Richtung der Kraft. Wie kann die Richtung der Kraft umgekehrt werden?
- Ist das System inhärent stabil? Wenn nicht, wie kann das System stabilisiert werden?

**Aufgabe 3: Reluktanzmotor**
**(20 Punkte)**

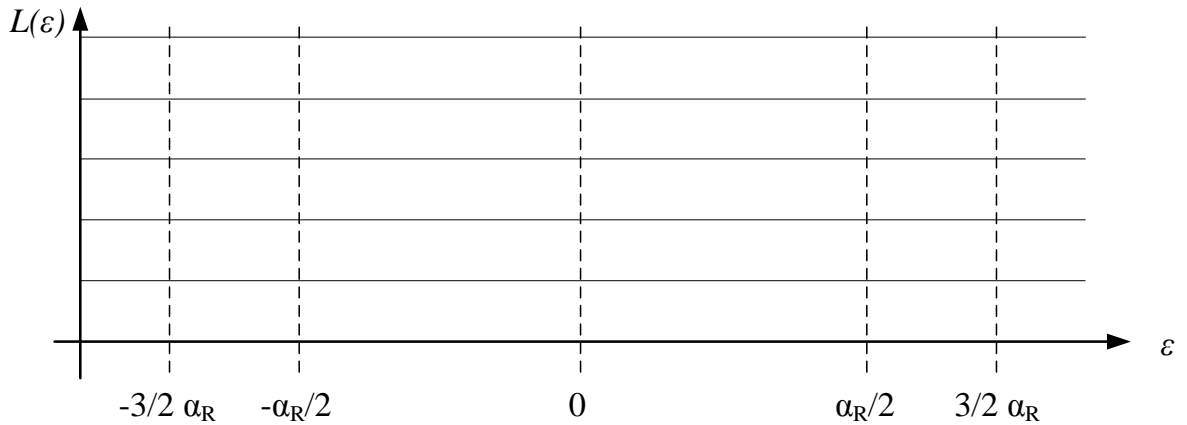
Gegeben sei der folgende Ausschnitt eines Reluktanzmotors. Der untere Rotorpol bewege sich mit einer konstanten Geschwindigkeit unter dem bestromten Statorpol. Die Abmaße des Luftspalts sind  $l_1 = 2,5 \text{ mm}$  und  $l_2 = 1 \text{ mm}$ . Die Größen des Motors sind in der nachfolgenden Auflistung aufgezählt:

$$\alpha_s = 50^\circ, \alpha_r = 25^\circ, A_s = 800 \text{ mm}^2, A_r = 400 \text{ mm}^2, i = 35 \text{ A}, N = 10$$

**Hinweise:** Gehen Sie davon aus, dass das magnetische Feld nur in vertikaler Richtung orientiert ist. Die Eisenreluktanz des Stators und Rotors kann vernachlässigt werden.

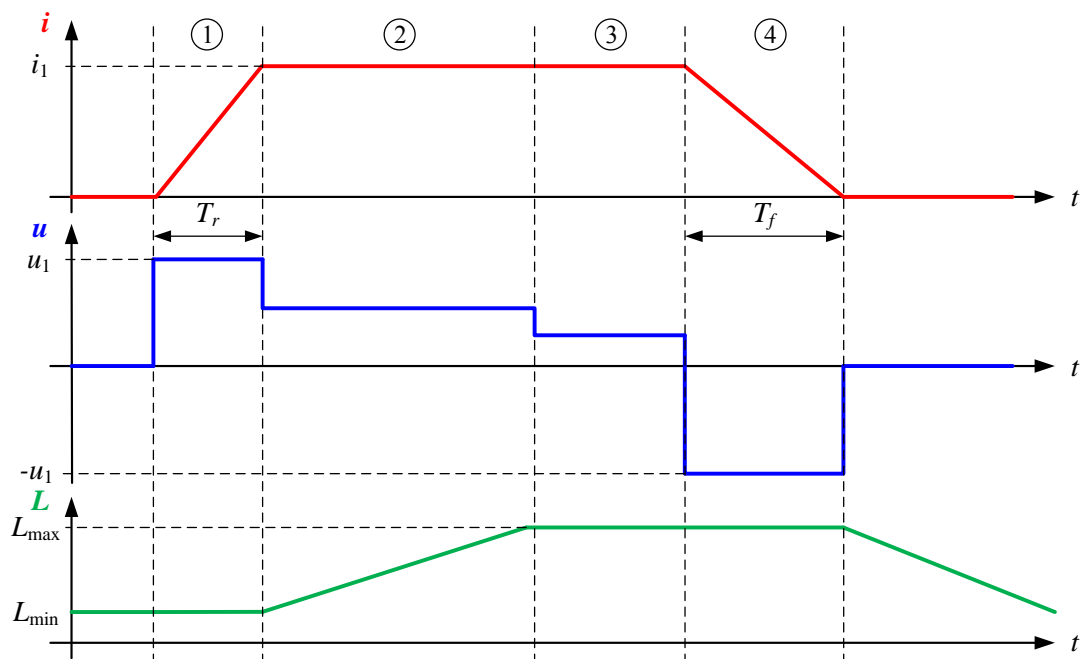


- 3.1** Stellen Sie die Gleichungen für den magnetischen Widerstand der Anordnung in Abhängigkeit vom Winkel  $\epsilon$  auf.
- in der vollständig nicht ausgerichteten Position ( $\epsilon = \alpha$ )
  - in der vollständig ausgerichteten Position ( $\epsilon = 0^\circ$ )
  - in der Transitionsphase ( $-3/2 \alpha_R < \epsilon < -\alpha_R/2$ )
  - Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der Luftspaltreluktanz für eine komplette elektrische Periode in das Diagramm auf der nächsten Seite.
- 3.2** Berechnen Sie das Drehmoment und skizzieren Sie den Verlauf der Induktivität  $L(\epsilon)$  in das nachfolgende Diagramm.



Die nachfolgenden Fragen sind unabhängig von in der Aufgabenstellung genannter Motorkonfiguration und können ohne Ergebnisse der bisherigen Aufgabenstellungen bearbeitet werden!

3.3 a) Erklären Sie zudem die folgenden charakteristischen Verläufe eines Reluktanzmotors für die verschiedenen Teilintervalle 1,2,3 und 4.



b) Berechnen Sie die Auf- und Entmagnetisierungszeiten  $T_r$  und  $T_f$ .  
Nehmen Sie hierfür folgende Werte an:  $u_1 = 250 \text{ V}$ ,  $i_1 = 35 \text{ A}$ ,  $L_{\min} = 1 \text{ mH}$ ,  $L_{\max} = 2,75 \text{ mH}$

**Hinweis:** Der ohmsche Widerstand kann nun vernachlässigt werden.

3.4 Ist Material mit einem nichtlinearen Magnetisierungsverhalten bei einem Reluktanzmotor vorteilhaft? Begründen Sie Ihre Antwort!

3.5 Warum kann bei einem Reluktanzmotor eine asymmetrische Halbbrücke anstatt eines Vierquadrantenstellers verwendet werden?